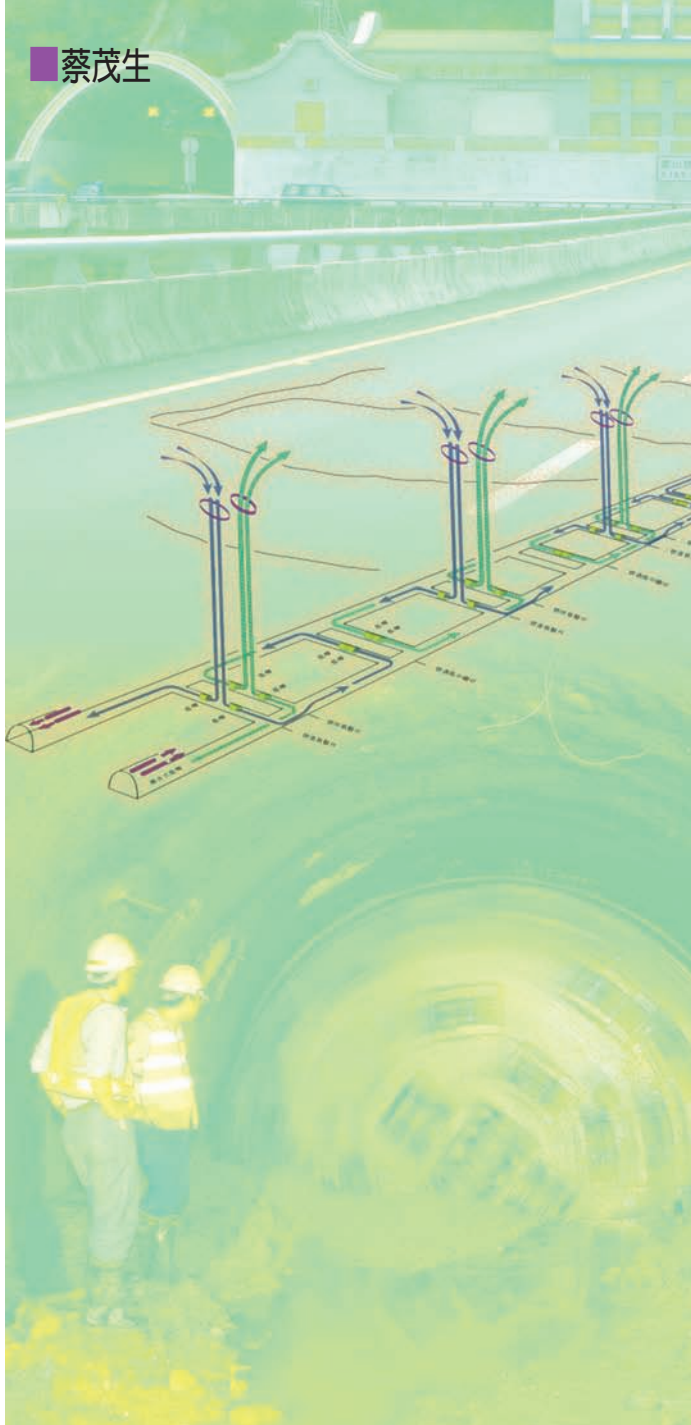


高施工難度的雪山隧道

雪山隧道是目前世界上排名第2長的雙孔公路隧道，曾被視為不可能完成的工程。施工團隊引進了先進的地質調查技術、開挖機具、和地盤改良工法，也採用多種機電交控設備，提供安全便利的行車環境，大幅改善東西部之間的交通。

■ 蔡茂生



雪山隧道

台灣地形受中央山脈阻隔，東西部之間的交通極為困難。台北宜蘭之間早年闢設淡蘭古道等步道，後來陸續興建北宜公路（台9線）、濱海公路（台2線）、北迴鐵路等。唯因受限於地形，安全性較差，行車時間長達2~3小時。交通不便影響東部地區發展，因此有興建快速公路穿越山區的提議。自民國72年起，歷經多年的調查、研究及規劃設計，國道5號北宜高速公路於民國81年開工，分段完成開放通車，雪山隧道是最後完成的路段。

雪山隧道自台北縣坪林鄉至宜蘭縣頭城鎮，全長約12.9公里，是雙孔隧道，兩隧道中心相距60公尺。由頭城往坪林方向以1.25%的坡度爬升，行車淨高4.6公尺，路面全寬是7.6公尺。

隧道直徑11.8公尺，以鑽掘機（Tunnel Boring Machine, TBM）開挖後，組裝預鑄環片，形成圓形斷面。若以鑽炸法施工時，則開挖斷面是馬蹄形，以噴凝土、岩釘、鋼支保等支撐，隧道內側再澆置混凝土（部分以鋼筋補強）。

兩隧道中間設有直徑4.8公尺的導坑，施工期間提供地質調查、排水、灌漿等作業需要，營運時供作維修及救援車輛的備用通路。

主坑每350公尺設有人行聯絡隧道（共28條），每1,400公尺設有車行聯絡隧道（共8條），以供事故時人員逃生和車輛疏散。車行聯絡隧道前，設置緊急停車彎，供故障車輛臨時停車和大型車輛迴轉以進入聯絡隧道。

兩隧道設有3組通風豎井（每組進氣井與出氣井各一），深度247~501公尺，內徑6公尺，豎井底部設置機房。因兩隧



國道 5 號北宜高速公路起自南港，經石碇、坪林至頭城，是台灣第一條穿越中央山脈連接東西部的高速公路，並與國道 1 號及 3 號連結，使環島高速公路網的建構邁進一大步。

雪山隧道配置示意圖



道行車分別是爬坡與降坡，車輛排煙量差異甚大，所以在兩通風豎井之間設置中繼站，使兩隧道空氣得以流通，以調和空氣品質。

地質調查

台灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊衝撞處，東北方又有沖繩海槽的作用，

因而北部山區地層構造複雜，斷層與褶皺帶眾多。又因雨量豐沛，大量地下水蓄積於破碎地層，更增隧道施工的難度。雪山隧道穿越台灣西部麓山帶地質區和雪山山脈地質區，沿線地質由西口的第三紀中新世，向東口方向漸變為較古老的第三紀始新世，分別是枋腳層、媽岡層、大桶山層、乾溝層及四稜砂岩。

區域內的主要斷層包括石槽斷層、石牌斷層北支、石牌斷層南支、大金面斷層及金盈斷層，多分布在隧道線的南端。褶皺構造共 11 條，除鶯仔瀨向斜和倒吊子向斜兩主要褶皺外，其餘 9 條次要褶皺延伸較短。

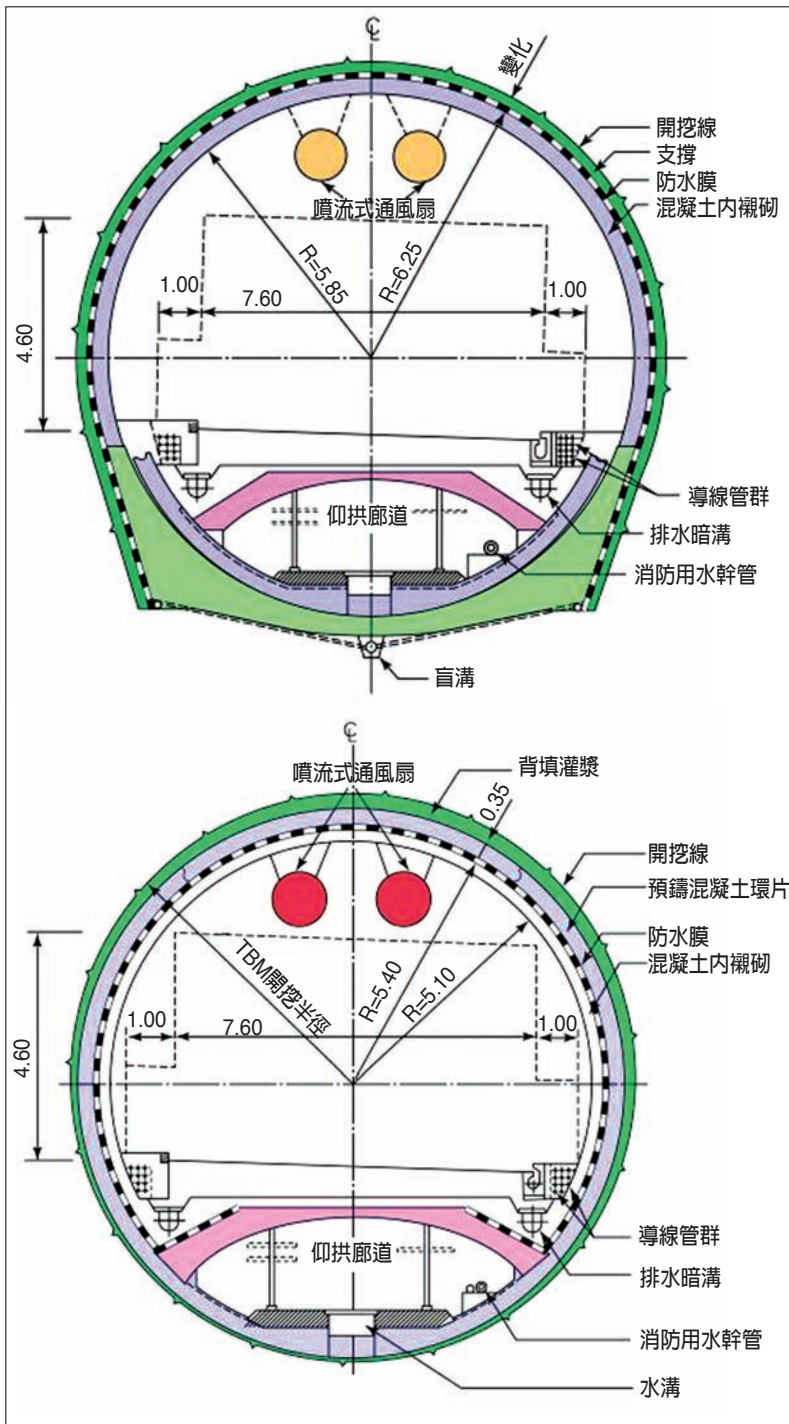
爲了了解隧道沿線地質構造，自規畫設計至施工各階段分別進行多項地質調查工作，包括航照判釋、野外調查、鑽探、震測、槽溝及橫坑開挖、現地應力量測、地電阻量測、透地雷達和隧道內震波探測等，耗費近 2 億元，完成報告約 125 冊。

雪山隧道的施工

隧道工程 近三分之二的雪山隧道位於大台北水源保護區，須儘量減低對環境的影響。又因地形限制，除南北兩端洞口外，須先開鑿 1 公里以上的隧道才能進入施工。考量降低勞工需求、提升國內隧道技術等因素，顧問公司建議引進鑽掘機 (TBM) 工法。

1856 年威森 (Charles Wilson) 發明 TBM，經過約 100 年的改進，技術漸趨成熟。自 1951 年起，美國、歐洲、日本等地逐漸運用於引排水、鐵公路等隧道工程。

英法海峽隧道的海底段約 22 公里，以 TBM (主隧道直徑 8.76 公尺、服務隧道 4.8 公尺) 分別自兩端施工，而於海底接合，在 1991 年貫通。哥達隧道 (Gotthard



上圖是鑽炸施工的雪山隧道斷面，下圖是TBM施工的雪山隧道斷面。

發電工程頭水隧道、新武界引水隧道、和平溪碧海水力發電頭水隧道等工程採用。

TBM有兩種類型。用於岩盤較完整的，多採用無鋼殼的機身，以「撐座」頂撐岩盤壁，以「推進千斤頂」把機頭頂入地層，掘削前進開挖，稱為「開放型」或「撐座式」TBM。地層較破碎的，機身設有鋼殼保護，稱為「盾構式」TBM，並配合採用RC或鋼製環片支撐隧道。為同時



雪山隧道導坑 TBM



雪山隧道主坑 TBM

Tunnel) 分別有鐵路和公路，隧道長度超過17公里，也採TBM施工。目前世界上最大的TBM是2005年西班牙馬德里公路隧道採用的兩台，直徑達15公尺。截至目前為止，國內陸續有雪山隧道、士林水力

近三分之二的雪山隧道位於大台北水源保護區，隧道的施工須儘量減低對環境的影響。

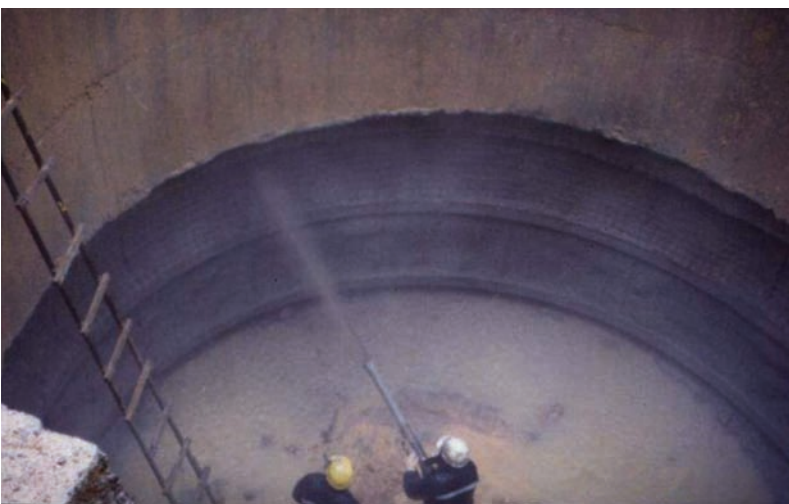
又因地形限制，除南北兩端洞口外，須先開鑿1公里以上的隧道才能進入施工。考量降低勞工需求、提升國內隧道技術等因素，因而引進鑽掘機工法。



斷層破碎帶改採頂導坑工法施工



導坑 TBM 開挖（混合工法）



噴漿作業

推進和組裝環片而設置兩節鋼殼的，稱為「雙盾式」TBM，雪山隧道導坑與主坑都採用這一型式。

因為 TBM 設計、製造和運輸耗時約需兩年，期間自頭城端，先行以鑽炸法施工。遺憾的是，一開挖就面對極端破碎地層的挑戰，包括斷層、剪裂帶、湧水等，致使隧道崩坍，TBM 多次被夾埋，必須開挖迂迴導坑脫困。其中一次巨大崩坍甚至把北上線主坑 TBM 壓毀，進度嚴重遲緩，數度幾告停擺。

為減低被夾埋事故，在地層較破碎段，先在 TBM 前方開挖先進頂導坑，再以 TBM 開挖下半斷面，稱為「混合工法」。另為加速完成隧道開挖，必須設法增闢工作面，因此利用聯絡隧道和 2 號豎井加開工作面，最高曾達 20 餘處。在破碎地層和高湧水區段採行灌漿及排水措施，以使開挖工作得以順利進行。

雪山隧道開挖重大災害統計

| 隧道位置 | 崩坍次數 | TBM 夾埋次數 |
|-------|------|----------|
| 導坑 | 29 | 13 |
| 北上線隧道 | 23 | 10 |
| 南下線隧道 | 12 | 3 |

豎井工程 為通風需要，須自地面開挖連通隧道的垂直豎井，每處豎井由兩口直徑 6 公尺、相距 50 公尺的進氣井及排氣井構成，深度 238 ~ 501 公尺。施工方法有自地面逐階往下開挖的「降挖工法」；或先自地面以鑽機鑽設導孔貫穿隧道後，再自隧道內換裝擴挖頭自隧道向地面擴挖，最後再以鑽炸法自地面向下開挖完成，稱為「昇井工法」。

里程辨識系統 兩隧道壁面每 1 公里設置里程辨識系統，分別以漢民族及原住民編織圖案構成「時光拼織 12.9」（隧道長



豎井地面門型吊車

12.9公里)，象徵隧道開鑿如同織布的一針一線般緊密又謹慎。圖案的使用也可舒緩用路人單調枯燥的心情。

機電及交控設施

電力系統 在隧道兩端分別設置變電站，採雙迴路供電，並各配置兩台4,160

伏、2,000千瓦並聯的發電機組。另設有不斷電電源供應設備，可供緊急用電15分鐘。

隧道照明 隧道照明共分5區段，依交通量、天氣、晝夜調整。主隧道照明採用40瓦×2日光燈，在洞口段輔以高壓鈉氣燈以加強照明。步道上每隔50公尺設置

1個逃生指示燈，在發生火警時點亮，導

雪山隧道豎井深度統計 (單位：公尺)

| 編號 | 進氣井 | 排氣井 |
|------|-----|-----|
| No.1 | 480 | 501 |
| No.2 | 238 | 249 |
| No.3 | 438 | 459 |

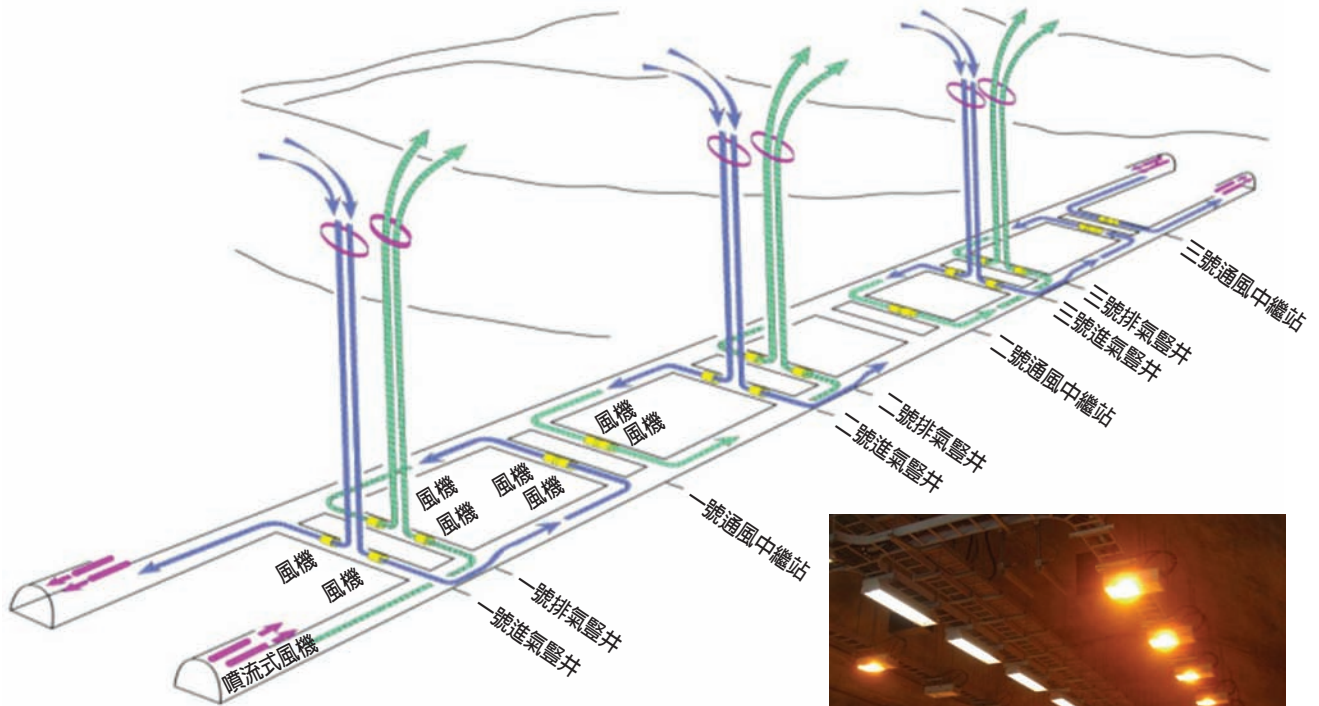


傘形鑽機



雪山隧道里程辨識系統的漢民族及原住民編織圖案

雪山隧道通風系統示意圖



引用路人逃生。

通風系統 雪山隧道採用加強縱流式通風系統，隧道上方共裝設 112 台噴流式風機。通風豎井、中繼站、隧道洞口等處機房裝設軸流式送風機共 44 具，依據天



雪山隧道的資訊可變標誌，可提供用路人交通資訊和採行必要的管制措施。



在雪山隧道的洞口段輔以高壓鈉燈以加強照明

候、車流、空氣品質、能見度等設定多種運轉模式。

消防系統 雪山隧道設有火警受信總機、偵煙式火警探測器、差動式銅管、火警綜合盤等火警偵測系統，沿線每隔 50 公尺設置一個消防栓箱。

交控系統 雪山隧道設有行車狀況的監測設備，利用標誌、號誌、通訊和廣播、資訊看板等提供用路人交通資訊和採行必要的管制措施。

歷經多年的艱辛奮鬥，北宜高速公路雪山隧道在 95 年 6 月 16 日正式開放通車。通車以來，便捷的行車路徑導致大輛的車流，對東部地區的發展提供莫大的助益。在此把這項重大工程的相關內容做一彙整，提供國內外關注人士參考。 □

蔡茂生

交通部台灣區國道新建工程局